

Analisa Perbedaan Inversi 1-D Metode Occam dan *Simulated Annealing* pada Data Magnetotellurik

R. Aldi Kurnia Wijaya, Ayi Syaeful Bahri, Dwa Desa Warnana

*Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: syaeful_b@geofisika.its.ac.id

Abstrak— Metode magnetotellurik banyak digunakan dalam eksplorasi panas bumi, tambang, minyak, dan gas bumi. Untuk mengetahui kondisi bawah permukaan dari data magnetotellurik perlu dilakukan proses inversi, banyak metode inversi yang digunakan untuk data magnetotellurik. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk membandingkan metode inversi 1-D berdasarkan pendekatannya, yaitu pendekatan linier (Occam) dan pendekatan global (*Simulated Annealing*). Data yang digunakan merupakan data sintetik berupa kurva resistivitas semu dan fase terhadap perioda. Untuk mengetahui perbedaan hasil inversi dibuat program berbasis matlab dengan algoritma Occam dan *Simulated Annealing*. Tahapan dalam penelitian ini adalah pembuatan program dan analisa kedua metode terhadap model sintetik. Dari penelitian yang dilakukan diketahui bahwa metode Occam menghasilkan model yang lebih baik, rms error yang rendah, waktu inversi yang lebih cepat, dan jumlah iterasi yang lebih sedikit.

Kata Kunci— Magnetotellurik, Inversi 1-D, Occam, *Simulated Annealing*.

I. PENDAHULUAN

METODE magnetotellurik banyak digunakan dalam proses eksplorasi panas bumi, tambang, minyak, dan gas bumi. Metode magnetotellurik merupakan metode elektromagnetik pasif yang mengukur fluktuasi medan listrik (E) dan medan magnet (B) alami pada arah ortogonal terhadap arah permukaan bumi dengan tujuan untuk menentukan konduktivitas bawah permukaan bumi dari kedalaman puluhan meter hingga ribuan meter [1]. Banyak metode inversi yang digunakan pada data magnetotellurik untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan, tetapi secara garis besar terdapat dua jenis pendekatan yaitu pendekatan linier dan pendekatan global.

Banyak penelitian yang membahas kedua pendekatan tersebut tetapi belum adanya penelitian untuk membandingkan hasil dari kedua pendekatan tersebut. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kedua pendekatan tersebut dengan cara membuat program inversi. Metode inversi yang diambil dalam penelitian ini adalah metode Occam yang mewakili penyelesaian masalah inversi non-linier dengan pendekatan linier dan metode *Simulated Annealing* yang mewakili penyelesaian masalah inversi non-linier dengan pendekatan global. Dimana kedua metode tersebut cocok untuk menyelesaikan permasalahan

non-linier, dimana data magnetotellurik yang berupa kurva resistivitas semu dan fase terhadap perioda yang merupakan data non-linier [2].

II. METODE INVERSI 1-D PADA DATA MAGNETOTELLURIK

A. Metode Occam

Metode Occam merupakan metode penyelesaian permasalahan non-linier dengan pendekatan linier. Metode Occam merupakan hasil pengembangan dari metode Levenberg-Marquardt dengan menambahkan parameter delta untuk *smoothing* berdasarkan regulasi tikhonov orde 1.

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 1 \\ & -1 & 1 \\ & & \dots \\ & & & -1 & 1 \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (1)$$

Sehingga parameter model menjadi [3]:

$$\hat{d} = d - g(m_n) + J_n m_n$$

$$m_{n+1} = [J_n^T J_n + \alpha^2 L^T L]^{-1} J_n^T \hat{d} \quad (2)$$

Dimana d adalah data, m adalah model, $g(m)$ adalah hasil pemodelan kedepan data, J adalah matriks Jacobi, α adalah *smoothing factor*, L adalah regulasi tikhonov orde 1.

B. Metode *Simulated Annealing*

Metode *Simulated Annealing* merupakan metode penyelesaian permasalahan non-linier dengan pendekatan global. Metode *Simulated Annealing* dalam inversi didasarkan pada analogi dengan proses termodinamika pembentukan kristal suatu substansi. Pada temperatur tinggi suatu substansi berbentuk cair, kemudian proses pendinginan secara perlahan-lahan menyebabkan terbentuknya kristal yang berasosiasi dengan energi sistem yang minimum. Probabilitas Boltzmann menyatakan hubungan antara probabilitas suatu sistem pada konfigurasi m dan temperatur T dengan energi E sebagai fungsi dari konfigurasi tersebut [4]:

$$P(m) \propto \exp(-E(m)/kT) \quad (3)$$

Dimana k adalah konstanta Boltzmann dan konfigurasi sistem dinyatakan oleh M parameter yaitu $m = (m_1, m_2, \dots, m_M)$. *Simulated Annealing* melakukan patrubasi model dilakukan dengan cara mengeksplorasi ruang model secara acak namun lebih terarah. Dimana pengambilan model dilakukan dengan persamaan berikut [4]:

$$m_i = m_{o_i} + R(m_i^{max} - m_i^{min}) \quad (4)$$

Dalam penelitian ini pencarian acak (R) dilakukan dengan menggunakan algoritma *Very Fast Simulated Annealing* (VFSA) dengan persamaan sebagai berikut [5]:

$$R = \text{sgn}(u_i - 0.5) T_n \left[\left(1 + \frac{1}{T_n}\right)^{|2u_i - 1|} - 1 \right] \quad (5)$$

Dimana u_i adalah bilangan acak dengan probabilitas uniform antara 0 dan 1, T_n merupakan temperatur yang berubah berdasarkan iterasi, Perubahan temperatur setiap patrubasi model dinyatakan sebagai berikut [5]:

$$T_n(k) = T_{0_n} e^{-c_n k^{1/D}} \quad (6)$$

Dimana n merupakan perubahan berdasarkan iterasi, sedangkan c_n adalah konstanta tetap yang memiliki nilai berbeda-beda berdasarkan masalah yang diselesaikan, D adalah jumlah model yang diinversi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Metode Inversi

Validasi dilakukan untuk mengetahui efektivitas metode tersebut dalam memperoleh kembali model sintetik. Dua model sintetik yang digunakan mewakili model sederhana yang terdiri dari 3 lapisan yaitu lapisan resistif pada model konduktif. Parameter model sintetik tersebut ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1.

Parameter model sintetik 1		
Lapisan	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ohm.m)
1	1000	300
2	1000	50
3		10000

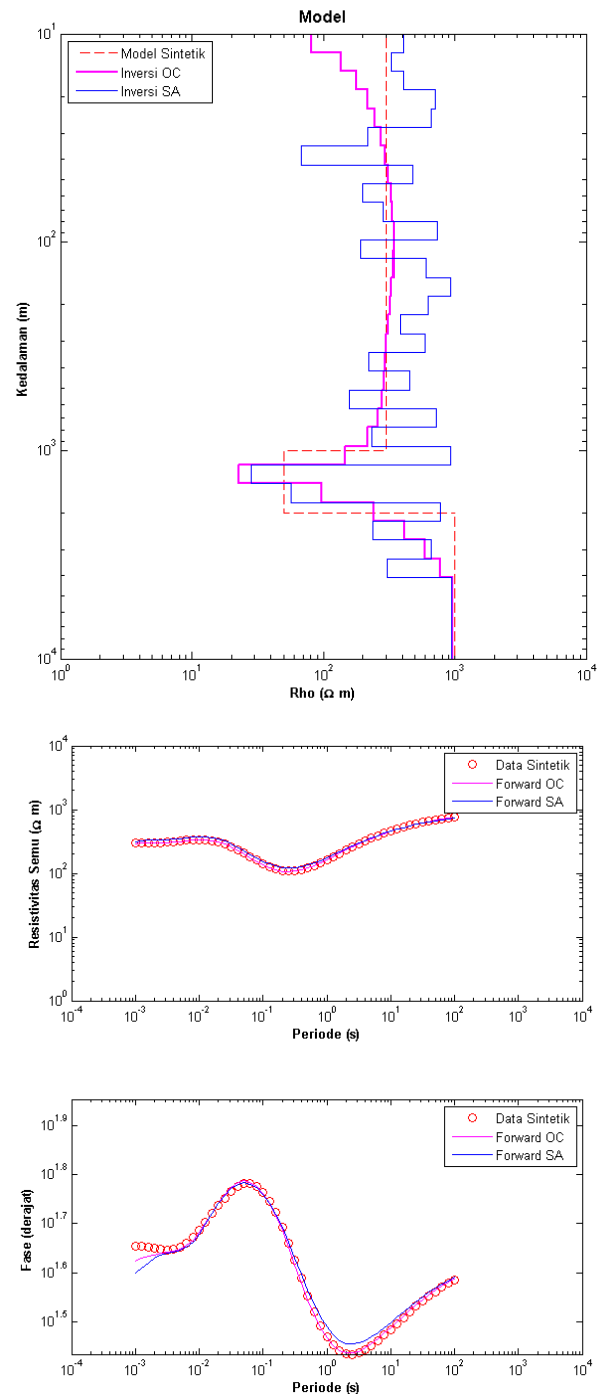
Data sintetik didapatkan dari forward modelling dari model sintetik sehingga didapatkan resistivitas semu dan fasa sebagai fungsi perioda (10^{-3} sampai 10^3 detik). Untuk membandingkan dua metode tersebut digunakan parameter inversi yang sama dan ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2.
Parameter inversi

Nama Parameter	Parameter Pertama	Parameter Kedua
Jumlah Lapisan	30	5
Kedalaman	10	300
Minimum		
Kedalaman	5000	3000
Maksimum		
RMS Error	5%	5%

Gambar 1 memperlihatkan hasil inversi dengan parameter pertama. Terlihat bahwa metode Occam lebih mendekati dengan model sintetik dibandingkan dengan metode *Simulated Annealing*. Hal ini dikarenakan metode Occam melakukan pendekatan numerik (pendekatan linier) terhadap model sintetik dengan evaluasi model berupa misfit, faktor *smoothing*, partubasi model, dan rms error. Tetapi *Simulated Annealing* melakukan pendekatan global dengan

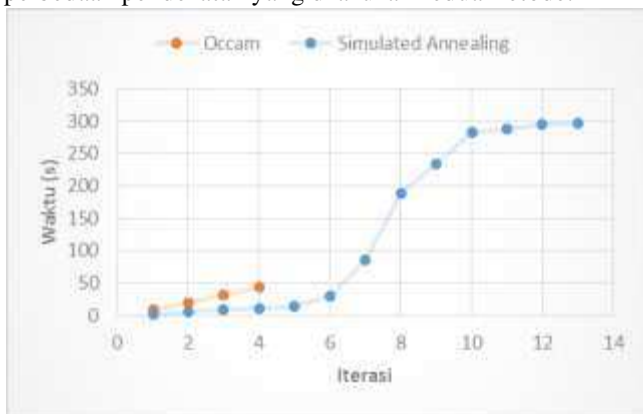
metode *random guide search*, dalam hal ini pencarian model ideal dengan mencari model secara random dengan evaluasi model berupa rms error saja.



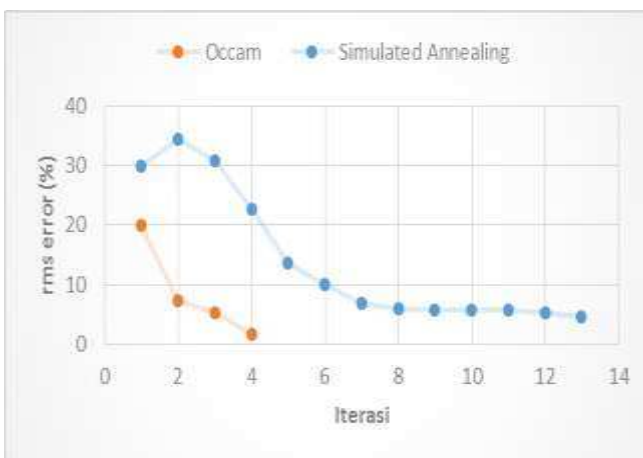
Gambar 1 Hasil inversi dengan parameter 1 a) Model hasil inversi b) Kurva resistivitas semu sebagai fungsi perioda c) Kurva fase sebagai fungsi perioda

Dari hasil perbandingan waktu dengan jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk mendapatkan rms error kurang dari 5% terhadap data sintetik yang diperlihatkan oleh gambar 2. Terlihat bahwa waktu dan jumlah iterasi yang dibutuhkan metode *Simulated Annealing* lebih lama dan lebih banyak dibandingkan oleh metode Occam. Dari hasil perbandingan rms error yang diperlihatkan oleh gambar 3. Terlihat bahwa tebakan model pertama metode Occam lebih baik

dibandingkan metode *Simulated Annealing* diperlihatkan dengan rms error yang lebih kecil. Hal ini disebabkan perbedaan pendekatan yang dilakukan kedua metode.



Gambar 2 Grafik perbandingan waktu dengan jumlah iterasi dalam proses inversi untuk parameter pertama

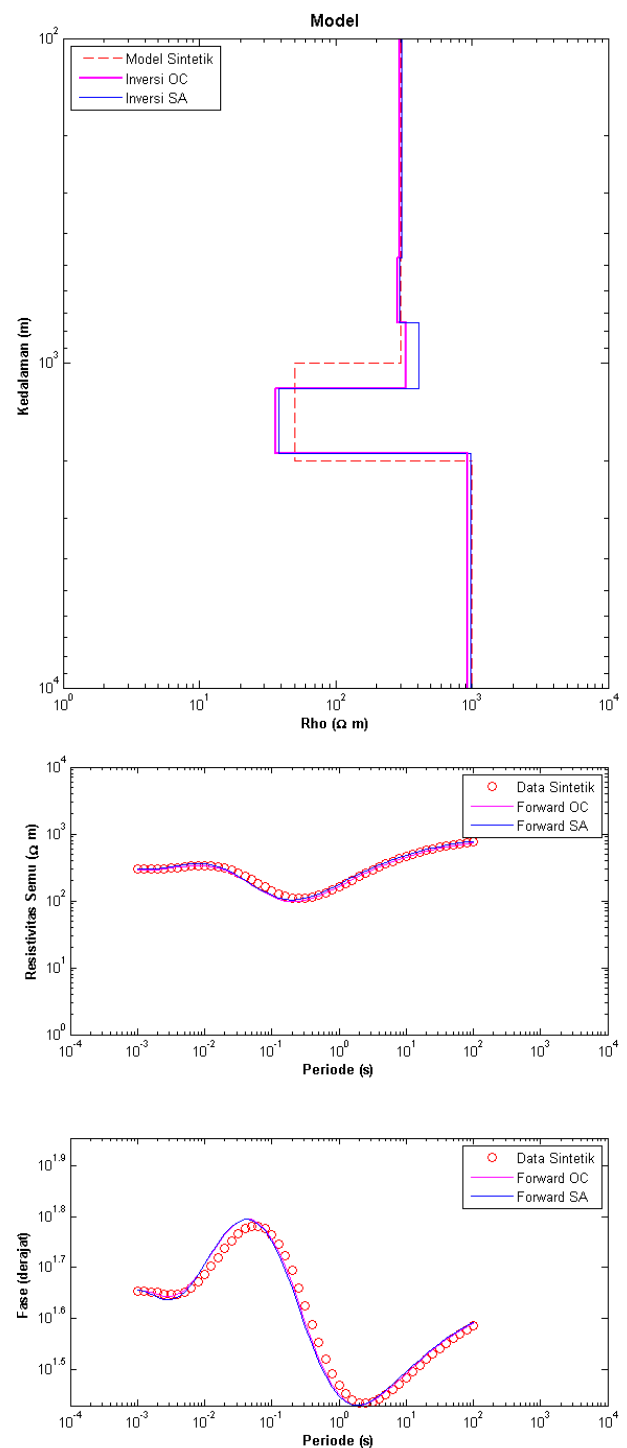


Gambar 3 Grafik perbandingan rms error dengan jumlah iterasi dalam proses inversi untuk parameter pertama

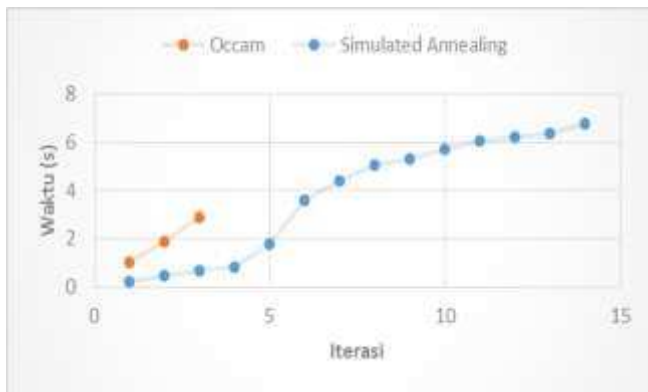
Gambar 4 memperlihatkan hasil inversi dengan parameter kedua. Terlihat metode Occam dan metode *Simulated Annealing* sudah mendekati model sintetik. Hal ini berbeda dengan parameter pertama, karena pada parameter kedua jumlah lapisan dibuat lebih sedikit dengan batasan minimum kedalaman dinaikan sehingga berdampak baik untuk metode *Simulated Annealing*.

Dari hasil perbandingan waktu dengan jumlah iterasi diperlihatkan oleh gambar 5. Terlihat bahwa waktu dan jumlah iterasi yang dibutuhkan metode *Simulated Annealing* lebih lama dan lebih banyak dibandingkan oleh metode Occam. Dari hasil perbandingan rms error yang diperlihatkan oleh gambar 6. Terlihat bahwa tebakan model pertama metode Occam lebih baik dibandingkan metode *Simulated Annealing* diperlihatkan dengan rms error yang lebih kecil. Hal ini disebabkan perbedaan pendekatan yang dilakukan kedua metode.

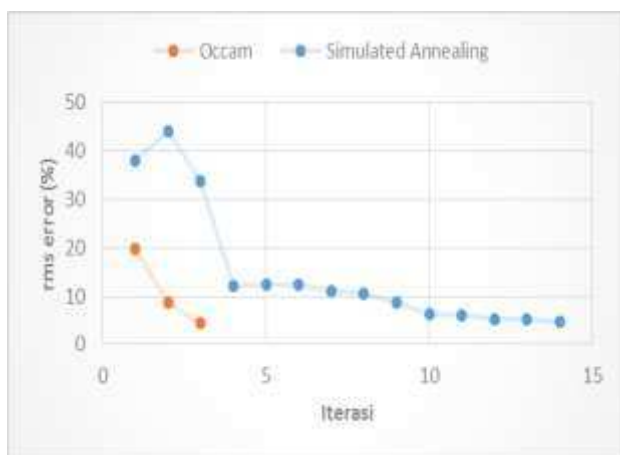
Perbedaan tebakan model hasil inversi yang berbeda dikarenakan perbedaan pendekatan yang dilakukan oleh kedua metode. Dalam proses inversi tebakan awal akan mempengaruhi hasil akhir model, hal ini terlihat jelas dari hasil inversi dimana model hasil inversi *Simulated Annealing* membutuhkan waktu yang lebih lama dan jumlah iterasi yang lebih banyak.



Gambar 4 Hasil inversi dengan parameter 2 a) Model hasil inversi b) Kurva resistivitas semu sebagai fungsi perioda c) Kurva fase sebagai fungsi perioda



Gambar 5 Grafik perbandingan waktu dengan jumlah iterasi dalam proses inversi untuk parameter kedua



Gambar 6 Grafik perbandingan rms error dengan jumlah iterasi dalam proses inversi untuk parameter kedua

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Metode Occam cocok digunakan dalam inversi untuk data magnetotellurik, sedangkan metode *Simulated Annealing* dibutuhkan penyesuaian parameter inversi.
- 2) Metode Occam menunjukkan hasil yang lebih baik berdasarkan rms error, kesesuaian model, jumlah iterasi, dan waktu inversi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Simpson, Fiona, dan Bahr, Karsten. 2005. "Practical Magnetotellurik". Cambridge University Press.
- [2] Constable, Steven C., Parker, Robert L., dan Constable, Carherine G. 1987. "Occam's Inversion: A practical Algorithm for Generating Smooth Model From Electromagnetic Sounding Data". *Geophysics*. Vol. 52, No. 3. P. 289-300.
- [3] Aster, Richard C., Borchers, Brian, dan Thurber, Clifford H., 2005. "Parameter Estimation and Inverse Problems". Elsevier Inc, UK, Ch. 10.
- [4] B. Grandis, Hendra. 2009. "Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika". Bandung: CV. Bhumi Printing.
- [5] Ingber, L. 1989. "Very Fast Simulated Re-annealing". *Mathl. Comput. Modelling*. Vol. 12, No. 8, P.967-973.